

УДК 630*237.2

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛЕСОУСТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И СПУТНИКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ГИДРОЛЕСОМЕЛИОРАТИВНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

¹Пахучий В.В., ²Шевелев Д.А.

¹Сыктывкарский лесной институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова»,
Сыктывкар, e-mail: pakhutchy@rambler.ru;

²ГБУ РК «Территориальный фонд информации по природным ресурсам и охране окружающей среды Республики Коми», Сыктывкар, e-mail: d-shevelev@agiks.ru

Приведены результаты исследований в насаждениях на объектах гидроресомелиорации в Корткеросском лесничестве Республики Коми. В качестве учетных единиц приняты осушаемые объекты в целом. Это позволило использовать материалы лесостроительства и рассчитываемые на их основе характеристики производительности лесных массивов. Данные дистанционного зондирования представлены снимками Landsat 5 TM. Выполнена оценка возможности использования при гидроресомелиоративных исследованиях вегетационных индексов – NDVI (нормализованный разностный индекс растительности) и ARVI (устойчивый к влиянию атмосферы индекс). Между условными индексами типа залежи и средним накоплением запаса установлена достоверная связь ($R^2 = 0,5013$; $R = 0,71$; $R_{0,01} = 0,68$). Показано, что среднее накопление запаса и продолжительность влияния осушения достоверно коррелированы ($R^2 = 0,3109$; $R = 0,56$; $R_{0,05} = 0,55$). Установлена достоверная связь между значениями индекса NDVI и средним запасом лесных массивов на осушаемых объектах ($R = 0,57 - 0,63$; $R_{0,05} = 0,55$). Вегетационный индекс ARVI слабо и недостоверно зависит от запаса древостоя, мощности торфа и интенсивности осушения.

Ключевые слова: Республика Коми, гидроресомелиорация, спутниковые технологии, лесостроительные материалы, вегетационные индексы

USE OF FOREST MANAGEMENT MATERIALS AND SATELLITE TECHNOLOGIES AT THE FOREST DRAINAGE RESEARCHES

¹Pakhuchiy V.V., ²Shevelev D.A.

¹Syktvykar forest institute (branch) of FSBEI of HPE «Saint-Petersburg State Forest Technical University of S.M. Kirov», Syktvykar, e-mail: pakhutchy@rambler.ru;

²SBI KR «Territorial fund of information on natural resources and environmental protection of the Komi Republic», Syktvykar, e-mail: d-shevelev@agiks.ru

The results of investigations in stands on the objects of forest drainage in the Kortkeroskiy forestry of Komi Republic are stated. As registration units used the drained objects in general. It allowed to use materials of forest management and the characteristics of productivity of forests counted on their basis. Data of remote sensing are submitted by pictures of Landsat 5 TM. The assessment of possibility of use at the forest drainage researches of vegetative indexes – NDVI (the normalized differential index of vegetation) and ARVI (an index, steady against influence of the atmosphere) is executed. Between conditional deposit indexes and average accumulation of a stock reliable connection is established ($R^2 = 0,5013$; $R = 0,71$; $R_{0,01} = 0,68$). It is shown that average accumulation of a stock and period of influence of drainage are authentically correlated ($R^2 = 0,3109$; $R = 0,56$; $R_{0,05} = 0,55$). Reliable connection between values the vegetative NDVI indexes and an average stock of forests on the drained objects ($R = 0,57 - 0,63$; $R_{0,05} = 0,55$) is established. The vegetative index ARVI poorly and doubtfully depends on a stock of a forest stand, power of peat and intensity of drainage.

Keywords: Komi Republic, forest drainage, satellite technologies, forest management, materials, vegetative indexes

Заболоченность лесного фонда Республики Коми составляет около 40% [1]. В связи с этим во второй половине прошлого века здесь было осушено около 100 тыс. га избыточно увлажненных лесных и нелесных земель. Оценка эффективности этих мероприятий является актуальным направлением исследований. В данной работе представлены результаты таких исследований с использованием материалов лесостроительства и методов дистанционного зондирования Земли. На

основе снимков Landsat 5TM выполнен анализ взаимосвязей между вегетационными индексами NDVI, ARVI, числовыми значениями пикселей и отдельными характеристиками насаждений, степенью канализации объектов гидромелиорации, показателями торфяной залежи.

Район исследований расположен на староосушенных участках заболоченных лесных земель в Корткеросском и Позтыкеросском участковых лесничествах Корткеросского лесничества. Это 13 объектов

лесоосушения, площадь которых изменяется от 402 до 2450 га. Тип водного питания атмосферный, смешанный и грунтовой. Почвы торфяно-глеевые и торфяные на верховой, переходной и низинной торфяных залежах. Насаждения представлены сосняками сфагновой, травяно-сфагновой и долгомошной групп типов леса. Обобщенная характеристика объектов исследования, включенных в анализ, представлена в табл. 1.

Данные дистанционного зондирования для района исследования представлены снимками Landsat 5 TM за 20.03.1988, 17.07.1988, 23.03.1998, 11.07.1994. Предварительная обработка снимков включала корегистрацию данных на основе эталонного снимка, ортотрансформацию на основе цифровой модели рельефа, уравнивание по опорным точкам,

радиометрическую калибровку и радиометрическую коррекцию влияния атмосферы.

Расчет индекса *NDVI* (нормализованный разностный индекс растительности) выполнен по формуле

$$NDVI = (NIR - RED)/(NIR + RED), \quad (1)$$

где *NIR* – числовое значение пикселей в ближней инфракрасной области спектра; *RED* – значение пикселей в красной области спектра.

Расчет индекса *ARVI* (устойчивый к влиянию атмосферы индекс) выполнен по формуле

$$ARVI = (NIR - Rb)/(NIR + Rb), \quad (2)$$

где $Rb = RED - a \cdot (RED - BLUE)$, как правило, $a = 1$, при малом покрытии растительности и неизвестном типе атмосферы $a = 0,5$, *BLUE* – значение в синей области спектра.

Таблица 1

Общая характеристика насаждений, торфяной залежи и степени канализации на объектах исследования

Номер объекта	Площадь, га	Год осушения	Степень канализации, м/га	Тип торфяной залежи	Мощность торфа, м	Для преобладающей породы		Класс возраста	Запас, м³/га	Класс бонитета по М.М. Орлову	Среднее накопление запаса, м³/га в год
						Д, см	Н, м				
1	1196	1979	11	верховая	1,0	15	12	5	92	IV–V	1,02
2	1756	1979	11	верховая	0,3	12	10	4	72	V–Va	1,03
3	2400	1977	53	переходная	0,5	12	10	4	78	V–Va	1,11
4	1712	1980	64	переходная	0,5	12	10	4	86	V–Va	1,23
5	909	1980	86	верховая	0,7	11	9	4	71	V–Va	1,01
6	1184	1977	78	переходная	1,0	12	10	4	75	V–Va	1,07
7	1004	1980	25	верховая	0,7	13	11	5	82	IV–V	0,91
8	402	1975	32	низинная	1,5	13	12	4	109	IV–V	1,56
9	2450	1975	22	низинная	2,0	11	10	3	67	V	1,34
10	1358	1976	54	переходная	0,5	13	11	4	93	V–Va	1,33
11	1558	1980	42	переходная	0,5	15	13	5	117	V–Va	1,30
12	427	1975	74	верховая	1,0	12	11	4	96	V	1,37
13	702	1970	19	переходная	1,5	15	12	5	114	IV–V	1,27

Примечания:

1. Объекты 1–7, 10, 11, 13 расположены в Корткеросском участковом лесничестве, объекты 8, 9, 12 – в Позтыкеросском участковом лесничестве.

2. На объектах 8, 12 преобладающая порода – ель, на остальных объектах – сосна.

Индексы получены в программе Scanex Image Processor. Среднее значение пикселей в пределах границ объектов осушения определили инструментом «Зональная статистика» в QuantumGIS. Проект ГИС в виде границ объектов осушения, линейного слоя гидромелиоративной сети Корткеросского и Позтыкеросского участков лесничеств, слоев гидрографии и дорожной сети создан на основе панхроматического снимка высокого разрешения Канопус-В за 2013 г.

Определение средних таксационных показателей насаждений (преобладающая порода, класс возраста, класс бонитета, запас) в границах каждого объекта лесосушения выполнено на основе выделенной лесоокультурительной информации за 1992 г. Среднее накопление запаса определили как отношение общего запаса насаждения к среднему возрасту древостоя преобладающей породы. Средний возраст древостоя принят как середина класса возраста этой породы.

Средняя глубина торфа рассчитывалась как средневзвешенная величина на основе

картографических контуров, ограничивающих участки с одинаковой мощностью торфяных отложений. Степень канализации для каждого объекта находили путём деления общей протяженности каналов на объекте на площадь объекта.

Для практики лесосушения важное значение имеет информация о влиянии на рост леса после строительства осушительных систем показателей торфяной залежи, интенсивности осушения, характеристик насаждений. Данные полевых работ могут быть дополнены материалами, полученными на основе дешифрирования аэрокосмических изображений. Для этих целей полезной может быть оценка зависимости характеристик космоснимков, например изменчивости значений пикселей или рассчитанных на их основе индексов, от производительности насаждений, степени канализации на объектах гидромелиорации, характера торфяной залежи и др. Результаты оценки таких взаимосвязей на объектах исследования приведены в табл. 2.

Таблица 2

Зависимость числовых значений пикселей и вегетационных индексов от степени канализации, характеристик насаждений и торфяной залежи

Сравниваемые показатели		R ²	R	Коэффициенты уравнения Y = AX + B		Год, сезон съемки
X	Y			A	B	
М	5к	0,0200	0,141	0,0180	21,349	1988, зима
СК	5к	0,0006	0,024	-0,0034	50,302	1988, лето
М	5к	0,039	0,197	0,121	61,11	1988, лето
КВ	4к	0,0880	0,297	3,3636	72,539	1988, зима
М	4к	0,6550	0,809	-0,3297	87,525	1988, зима
СК	4к	0,0120	0,110	-0,0103	59,841	1988, лето
КВ	4к	0,0012	0,035	0,1580	58,504	1988, лето
М	4к	0,0162	0,127	-0,0204	60,984	1988, лето
КВ	3к	0,0890	0,298	4,0752	72,792	1988, зима
КВ	3к	0,1485	0,385	-0,8165	26,923	1988, лето
М	3к	0,6123	0,782	-0,3828	89,473	1988, зима
М	3к	0,6301	0,794	-0,0603	28,811	1988, лето
СК	NDVI	0,0648	0,255	-0,0002	0,5935	1988, лето
СК	NDVI	0,1543	0,392	-0,0003	0,2465	1988, зима
Т	NDVI	0,1255	0,355	0,0139	0,5647	1988, лето
Т	NDVI	0,0226	0,151	0,0410	0,2251	1988, зима
Т	NDVI	0,1084	0,329	0,0100	0,2752	1998, зима
М	NDVI	0,3278	0,573	0,0007	0,5174	1988, лето
М	NDVI	0,2168	0,466	0,0004	0,6382	1994, лето
М	NDVI	0,3934	0,630	0,0005	0,1829	1988, зима
М	NDVI	0,1041	0,330	0,0003	0,2580	1998, зима
М	ARVI	0,0056	0,073	0,00009	0,1781	1988, лето
М	ARVI	0,0158	0,125	0,0001	0,3507	1994, лето
М	ARVI	0,1355	0,368	-0,0002	-0,0403	1988, зима
М	ARVI	0,1482	0,385	-0,0003	0,0770	1998, зима
Т	ARVI	0,1557	0,395	0,0164	0,1716	1988, лето
Т	ARVI	0,0724	0,269	-0,0057	-0,0559	1988, зима

Примечания:

1. КВ – класс возраста; КБ – класс бонитета; 4К – четвертый канал; М – запас, м³/га; СК – степень канализации, м/га; Т – мощность торфа, м.

2. Критическое значение коэффициента корреляции для 13 объектов лесосушения составляет для уровня значимости 1% – 0,68; для 5% – 0,55; 10% – 0,48.

Анализ корреляционных связей между изучаемыми показателями выявил следующее. Числовые значения пикселей в 5 канале слабо и недостоверно связаны с запасом и степенью канализации. Значения пикселей в 4 канале слабо и недостоверно связаны с возрастом насаждений и степенью канализации, но может наблюдаться их тесная связь с запасом насаждений для зимнего периода. Значения пикселей в 3 канале недостоверно связаны с возрастом насаждений, но наблюдается их достоверная тесная связь с запасом древостоя и в зимний, и в летний период. Для 3 канала Landsat 5 TM (красная область спектра) характерно максимальное поглощение солнечной радиации хлорофиллом растений, поэтому отрицательное направление связи в данном случае обосновано.

NDVI и в зимний, и в летний период 1988 г. тесно связан со средним запасом насаждений, несмотря на то, что для различных объектов в 1988 г. период после осушения составил от 8 до 18 лет (табл. 1) ($R = 0,57-0,63$; $R_{0,05} = 0,55$). Таким образом, подтверждается известное положение о том, что данный индекс может служить в качестве характеристики продуктивности фитоценозов, в т.ч. насаждений на объектах гидромелиорации [2, 3, 4]. В то же время для снимков 1994 и 1998 г. такая зависимость ослабевает ($R = 0,47-0,32$; $R_{0,05} = 0,55$). Это может свидетельствовать о том, что если для пробных площадей и полигонов в виде кварталов положительная достоверная зависимость между *NDVI* и запасом древостоя является достаточно устойчивой, то в случае сравнения этих же показателей, но усредненных для больших площадей, эта связь может быть менее тесной и недостоверной. *NDVI* слабо и недостоверно зависит от мощности торфа. При этом следует отметить, что ранее нами было выявлено наличие тесной и достоверной связи между этими показателями [3]. Однако в последнем случае в выборку включались только насаждения на участках с мелкой залежью торфа и выборка выравнивалась по признаку «удаление от осушительных каналов». В данном случае глубина торфа изменяется от 0,3 до 2,0 м, а дифференцирование по признаку близости к осушительному каналу заменено обобщенной для всего объекта характеристикой «степень канализации».

ARVI в зимний и летний период 1988, 1994 и 1998 г. слабо и недостоверно зависит от запаса древостоя. То есть включение в расчетную формулу вегетационного ин-

декса значения синего канала существенно не повлияло на результат расчета. При этом следует отметить, что использование в расчетных формулах вегетационных индексов значений зеленого канала оценивается как полезное для целей дешифрирования и распознавания объектов по космоснимкам для выявления медленных изменений в лесах (на примере вымокания березняков) [5]. Слабо и недостоверно индекс *ARVI* зависит от мощности торфа. В этом случае, видимо, допустимы объяснения, приведенные выше для оценки зависимости от мощности торфа вегетационного индекса *NDVI*.

Установлено, что среднее накопление запаса увеличивается при переходе от верховой, переходной и низинной залежи торфа. Индексируя условно верховую залежь как 1, переходную – 2, низинную – 3, получаем уравнение связи между этими показателями:

$$Y = 0,1821X + 0,874$$

$$(R^2 = 0,5013; R = 0,71; R_{0,01} = 0,68),$$

где Y – среднее накопление запаса, $m^3/га$ в год; X – тип торфяной залежи (1 – верховая, 2 – переходная, 3 – низинная).

Таким образом, при использовании в качестве объектов исследования достаточно обширных площадей, а не только пробных площадей или полигонов в виде кварталов подтверждается базовое положение гидромелиорации о том, что лесоводственный эффект лесосушения прежде всего зависит от типа торфяной залежи. Среднее расчетное накопление запаса на объектах с верховой торфяной залежью составляет 1,06, с переходной торфяной залежью – 1,24, с низинной – 1,42 $m^3/га$ в год. Выравнивание выборок по типу торфяной залежи позволяет показать наличие традиционных тенденций изменения лесоводственного эффекта осушения при изменении степени канализации. Так, для верховой торфяной залежи установлена близкая к средней по тесноте связь между накоплением запаса и степенью канализации ($R^2 = 0,2438$; $R = 0,50$; $R_{0,10} = 0,48$). То есть, чем интенсивнее осушение, тем выше лесоводственный эффект гидромелиорации. Аналогичная качественная связь между данными показателями наблюдается при сравнении лесных массивов на низинных торфяных залежах (объекты 8, 9; табл. 1). Для переходных залежей положительное направление связи между величиной прироста и степенью канализации не установлено.

Для совокупности пробных площадей или полигонов в границах кварталов для

одного объекта лесосошения может быть принята одинаковая продолжительность влияния осушения. При сравнении различных объектов гидромелиорации продолжительность влияния осушения может существенно различаться. Например, в анализируемой нами выборке (табл. 1) этот показатель изменяется от 12 до 22 лет. Между величиной среднего накопления запаса и продолжительностью влияния осушения для 13 объектов (табл. 1) установлена положительная достоверная связь ($R^2 = 0,3109$; $R = 0,56$; $R_{0,05} = 0,55$). Это необходимо учитывать при анализе зависимостей между таксационными показателями, характеристиками торфяной залежи, степенью канализации в случаях, когда в качестве учетной единицы используются объекты лесосошения, а не пробные площади или полигоны.

Использование объектов лесосошения в качестве единиц выборочной совокупности позволяет оценить возможность применения методов дистанционного зондирования не только к ограниченным по площади участкам пробных площадей или полигонов в границах кварталов, но и к лесным массивам, включающим несколько кварталов. Это оправдано, т.к. осушаются именно лесные массивы достаточно большей площади.

Заклучение

При гидролесомелиоративных исследованиях в качестве учетных единиц можно использовать не только пробные площади и полигоны в границах кварталов, но и осушаемые объекты в целом. Это позволяет использовать материалы лесоустройства и рассчитываемые на их основе характеристики производительности лесных массивов.

Среднее накопление запаса для объекта лесосошения в целом увеличивается при переходе от верховой к переходной и низинной залежи торфа, что подтверждает базовое положение гидролесомелиорации о зависимости лесоводственного

эффекта осушения от типа торфяной залежи. Между условными индексами типа залежи и средним накоплением запаса установлена достоверная связь ($R^2 = 0,5013$; $R = 0,71$; $R_{0,01} = 0,68$).

Между величиной среднего накопления запаса и продолжительностью влияния осушения установлена положительная достоверная связь ($R^2 = 0,3109$; $R = 0,56$; $R_{0,05} = 0,55$).

Значения пикселей в 3 канале достоверно связаны со средним запасом лесных массивов осушаемых объектов в зимний и летний период ($R^2 = 0,61-0,63$; $R = 0,78-0,79$; $R_{0,01} = 0,68$). Вегетационные индексы *NDVI* достоверно связаны со средним запасом лесных массивов на осушаемых объектах ($R = 0,57-0,63$; $R_{0,05} = 0,55$).

Вегетационный индекс *ARVI* слабо и недостоверно зависит от запаса древостоя, мощности торфа и степени канализации. Включение в расчетную формулу этого индекса значения синего канала существенно не повлияло на его дешифровочные возможности.

Список литературы

1. Пахучий В.В., Пахучая Л.М. Опыт использования вегетационных индексов при комплексных исследованиях на объектах гидролесомелиорации // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. – 2014. – № 1 (21). – С. 33–41.
2. Пахучий В.В., Пахучая Л.М., Шевелев Д.А. Развитие методов ГИС и дистанционных технологий для целей гидролесомелиоративных исследований // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2015. – № 41. – С. 65–68.
3. Сабо Е.Д., Иванов Ю.Н., Шатилло Д.А. Справочник гидролесомелиоратора / под ред. канд. техн. наук Е.Д. Сабо. – М.: Лесн. Пром-сть, 1981. – 200 с.
4. Шевелев Д.А. Исследование влияния осушения на рост сосны с использованием ГИС и ДДЗ // Сборник материалов научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава Сыктывкарского лесного института по итогам НИР в 2013 г. / Сыктывкарский лесной институт. – Сыктывкар, 2014. – С. 283–286.
5. Черепанов А.С. Технология выявления медленных изменений в лесах по мультиспектральным космическим снимкам (на примере вымокания лесов) // Геоматика (GeomatICS). – 2009. – № 3 (4). – С. 66–75.